

УДК 621.7.044:658.512.011.56

В. В. ТРЕТЬЯК<sup>1</sup>, А. В. ОНОПЧЕНКО<sup>1</sup>, А. С. ФЕДОРОВА<sup>1</sup>, С. А. СТАДНИК<sup>2</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*<sup>2</sup> *АО «МОТОР-СИЧ», Украина*

## ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕРАКТИВНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ АДРЕСАЦИИ И СИНТЕЗА

*Представлен интерактивный программный комплекс, который предназначен для разработки новых и перспективных технологических процессов изготовления сложных листовых деталей с использованием методов синтеза и адресации. Показаны созданные математические модели для расчета технологических процессов с учетом наработки научных исследований и производственного опыта по определению величины нагрузки при процессе штамповки. Описана база знаний, используемая в представленном программном комплексе при проектировании маршрутных и операционных технологических процессов.*

**Ключевые слова:** *интерактивный программный комплекс, импульсные технологические процессы, база знаний, методы синтеза и адресации, сложные листовые детали.*

### Введение

В конструкции авиационных двигателей удельный вес оригинальных и сложных деталей постоянно увеличивается, хотя их доля составляет примерно 15 – 20 % от общего объема всех листовых деталей. Именно применение оригинальных и сложных деталей обуславливает существенное повышение повышенных качеств к деталям авиационной техники. Для изготовления подобных деталей применяют в основном метод импульсной металлообработки.

Постоянное совершенствование оборудования и оснащения, изменение форм и габаритов деталей, использование более прочных материалов для их изготовления потребует использования принципиально нового подхода к проектированию технологических процессов импульсных технологий штамповки, который позволил бы обеспечить решение основных задач технологической подготовки производства в кратчайшие сроки при минимальных затратах на проектирование и подготовку производства.

Возможности импульсных технологий позволяют изготавливать уникальные детали по габаритам, форме и материалу на экспериментальных участках с высокой эффективностью и простотой. Капитальные затраты на его создание в десятки раз ниже, чем для обычного прессового оборудования соответствующих усилий.

Большинство разработок технологических процессов и оборудования импульсной штамповки в течение длительного времени выполнялось совместно со специалистами ХАИ, отраслевых институ-

тов авиационной промышленности и общего машиностроения. Однако трудности при изучении процессов деформирования металлов обусловлены большим разнообразием физических явлений протекающих при этом.

Результаты научных исследований позволили создать новые математические модели для расчета технологических процессов с учетом наработки научных исследований, а также производственного опыта модели импульсной нагрузки в процессах штамповки.

### 1. Особенности используемых методов проектирования импульсных технологических процессов

Классически при проектировании технологических процессов, в том числе импульсной металлообработки, могут быть использованы два метода проектирования – метод синтеза и метод адресации.

Наиболее простым и приемлемым для проектирования методом является метод адресации с заимствованием и изменением структуры технологического процесса для аналога (ТП-аналога). Более сложным, но позволяющим проектировать технологические процессы при отсутствии аналогов является метод синтеза с элементами-аналогами [1].

Главная особенность метода адресации заключается в том, что он направлен на использование возможности изготовления группы изделий  $D_i$  с частичной переналадкой ТП на конкретную деталь  $d$ , которая адресуется к множеству изделий.

При этом переналадка заключается в отсутствии в конкретном ТП  $t$  отдельных элементов унифицированного ТП или в замене одного элемента ТП на другой при условии, что эти элементы взаимозаменяемы.

При этом ТП на конкретное изделие имеет оригинальную параметрическую настройку. Метод адресации предполагает отнесение конкретного изделия  $d$  к классу (группе) изделий, объединяемых общностью изготовления.

Соответствующий этой группе изделий унифицированный ТП  $t_i^a$  по данным об изделии  $d$  корректируется по составу и связям методом их исключения и последующей параметрической настройкой

$$\begin{cases} LKN\Gamma_k P\Gamma_a d = t; \\ \Gamma_a d = G^a; \\ P\Gamma^a = T^a, t_i^a \in T^a; \\ N\Gamma_k T^a = T, t \in T, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\Gamma_k$  – алгоритмы корректировки структуры ТП – аналогов  $T^a$ ;

$\Gamma_a$  – алгоритмы адресации к классам (группам) изделий;

$G_a$  – множество классов, к которым адресуется изделие  $d$ , т. е. предполагается возможность изготовления изделия  $d$  на нескольких специализированных производственных подразделениях;

$T$  – множество вариантов ТП изготовления изделия  $d$ .

Оценку решений метода обычно выполняют в три этапа: оценивают адресацию к классам  $g_i \in G^a$  по критерию  $K_k$ ; оценивают структуры откорректированных ТП-аналогов по критерию  $K_c$  и, наконец, оценивают варианты ТП  $T$  после параметрической настройки по критерию  $K_n$ , т.е.  $LKN\Gamma_k P\Gamma_a d = t$ .

Необходимо отметить, что в этой модели разделены структурная и параметрическая оптимизация ТП и явно используется принцип неокончателности принимаемых решений.

В общем случае  $\Gamma_a$  – набор алгоритмов классификации (адресации);  $\Gamma_k$  – множество алгоритмов рассмотрения отдельных элементов ТП на необходимость их использования в конкретной ситуации, которые обладают высокой степенью универсальности и могут храниться в базе знаний. Алгоритмы  $\Gamma_a$  и  $\Gamma_k$  реализуются процедурой выбора решений.

Схема проектирования технологических процессов данным методом представлена на рис. 1.

Метод синтеза с элементами-аналогами более сложен и основан на том, что элементы, из которых

синтезируется ТП, могут быть получены на этапе унификации и стандартизации ТП и при этом отдельно хранятся в базе данных системы.

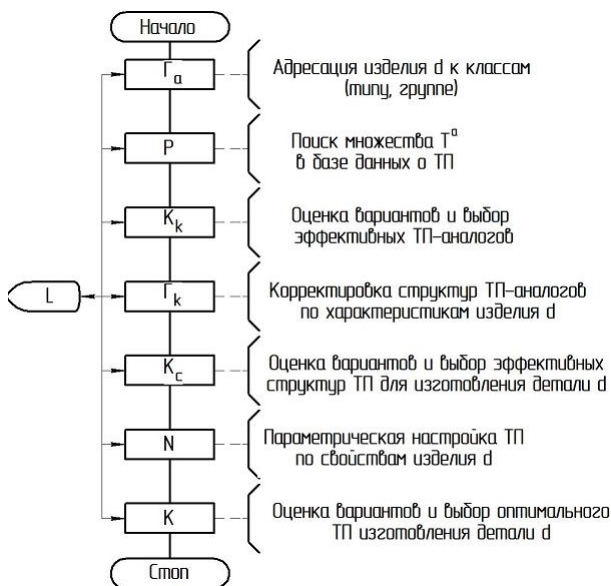


Рис. 1. Схема проектирования ТП методом заимствования с изменением структуры ТП-аналога

Каждый фрагмент, который вычленяется из ТП, прямо или косвенно можно рассматривать с внешними связями, которые разорваны при его выделении (полусвязи).

При соединении фрагментов (т. е. возвращение на нулевой уровень) разорванные связи восстанавливаются относительно просто, опираясь на совпадение свойств полусвязей.

При соединении элементов-аналогов связи между ними не восстанавливаются, а строятся, что значительно усложняет задачу синтеза ТП.

При этом в системе обязательно необходимо использовать интеллектуальные модули, позволяющие проводить операции синтеза.

В приведенной системе для синтеза элементов ТП и их структуры авторами использованы алгоритмы распознавания образов.

Схему проектирования без детализации можно описать следующим образом.

С помощью приведенной классификации изделия определяется: на каких классах технических систем можно изготовить изделие, какие множества унифицированных решений и алгоритмов можно использовать при проектировании ТП.

Затем определяются подмножества элементов-аналогов  $i$ -го уровня, которые можно использовать для проектирования ТП изготовления изделия  $d$ . Элементы-аналоги корректируются методом исключения отдельных, не используемых для изготовления изделия  $d$ , составляющих унифицированного

решения.

Из откорректированных элементов-аналогов синтезируется решение  $i - 1$ -го уровня с использованием элементов-аналогов  $i - 1$ -го уровня. Последняя процедура повторяется до тех пор пока не будет сформировано решение на нулевом уровне.

Например, проектируется ТП обработки деталей, и проектирование начинается с инструментальных переходов, назначение которых проводится по унифицированным планам обработки поверхностей или сочетаний поверхностей. После выбора необходимого их состава и корректировки они объединяются (синтезируются) в блочные переходы.

При этом решаются вопросы совмещения инструментальных переходов, выбора державок и цикла обработки. Инструментальные переходы объединяются в соответствии с унифицированными схемами объединения или унифицированными блочными переходами.

Построенные блочные переходы объединяются в позиционный переход по унифицированным наладкам оснастки и оборудования.

Формально идеальная схема проектирования методом синтеза с элементами-аналогами запишется так:

$$\begin{cases} LKNS_1 \dots S_{i-1} S_i \Gamma_k \Gamma'_a \Gamma_a d = t; \\ \Gamma_k(\Gamma'_a \Gamma_a d) = \Gamma_k(\{\mathcal{A}_i^a\}) = \{\mathcal{A}_i\}; \\ S_i(\{\mathcal{A}_i\}, \{\mathcal{A}_{i-1}^a\}) = \{\mathcal{A}_{i-1}\}; \\ S_1(\{\mathcal{A}_1\}, \{\mathcal{T}^a\}) = T, \mathcal{T}^a = \{\mathcal{A}_0^a\}, t \in T, \end{cases} \quad (2)$$

где  $S_1, \dots, S_i$  – процедура синтеза;

$\Gamma_k$  – алгоритмы корректировки аналогов;

$\Gamma'_a$  – алгоритм выбора элементов-аналогов  $i$ -го уровня;

$\Gamma_a$  – алгоритмы адресации к классам изделия  $d$ .

Каждая процедура синтеза при соединении элементов использует унифицированные схемы их связей (элементы-аналоги), которые могут храниться различными способами.

Оценку решений можно проводить в несколько этапов: оценивать адресацию к классам по критерию  $K_k$ , оценивать структуры откорректированных элементов-аналогов по критерию  $K_c$ , оценивать структуры решений после выполнения каждой процедуры синтеза по критериям  $K_{ci}$ , где  $i = 1, \dots, i$ , и оценивать варианты ТП  $T$  после параметрической настройки по критерию  $K_n$ , т.е.

$$LK_n NK_{c1} S_1 \dots K_{ci-1} S_{i-1} K_{ci} S_i K_c \Gamma_k \Gamma'_a \Gamma_a d = t.$$

Схема проектирования данным методом представлена на рис. 2.

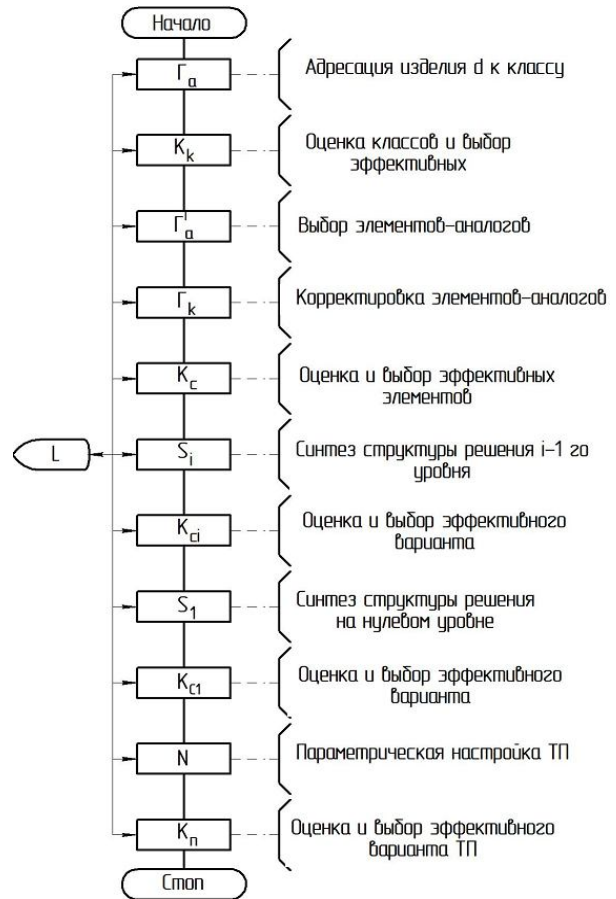


Рис. 2. Схема проектирования ТП методом синтеза с элементами-аналогами

## 2. Этапы разработки технологического процесса

При разработке технологического процесса импульсной обработки пользователю необходимо вначале описать деталь соответствующими ей конструкторско-технологическими признаками [2] (рис 3.).

На последующих этапах производится расчет схемы штамповки и маршрутной технологии с последующей детализацией их параметров (рис. 4).

На третьем этапе производится расчет параметров операционной технологии и их корректировка по одной из приведенных методик с учетом масштабных факторов (рис.5).

На завершающем этапе производится дисперсный и регрессионный анализ данных с учетом апробированной технологии. На рис.6 приведен расчет параметров внешней нагрузки на первом переходе в зависимости от толщины детали [3].

## Заключение

Данный программный комплекс позволяет проектировать технологические процессы изготовления листовых деталей любой сложности, габаритных размеров и формы.

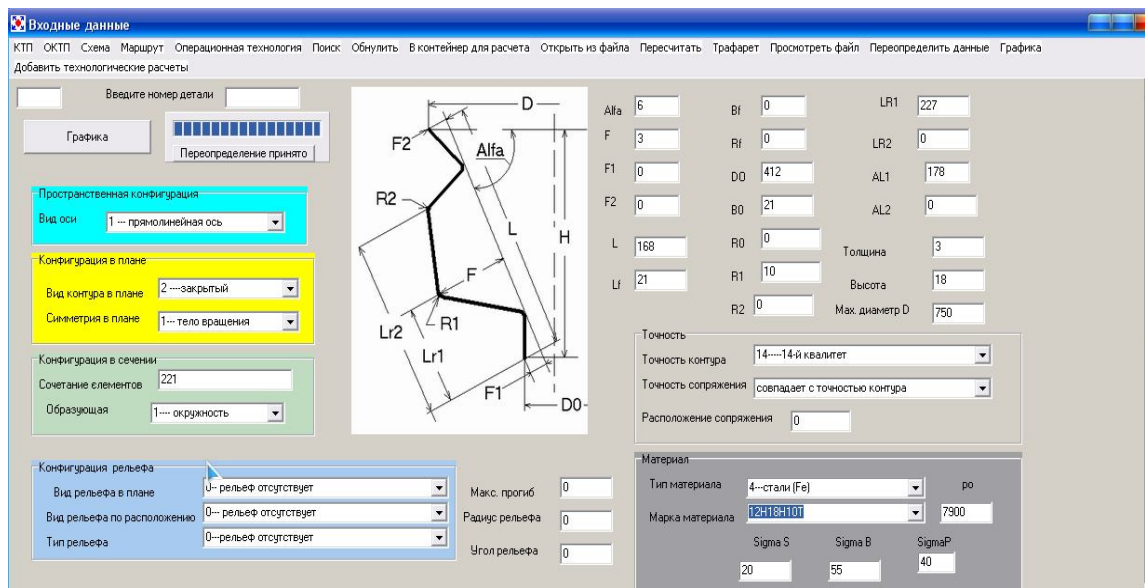


Рис. 3. Описание детали с конструкторско-технологическими признаками

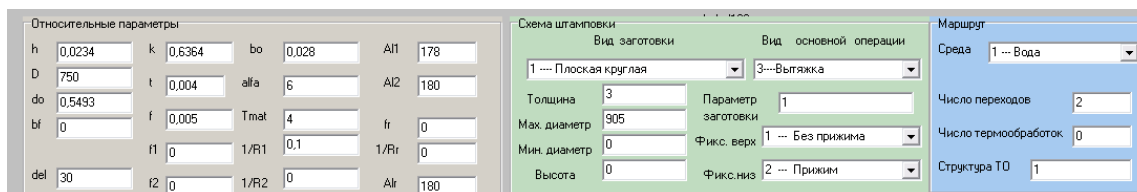


Рис. 4. Расчет параметров схемы штамповки и маршрутной технологии

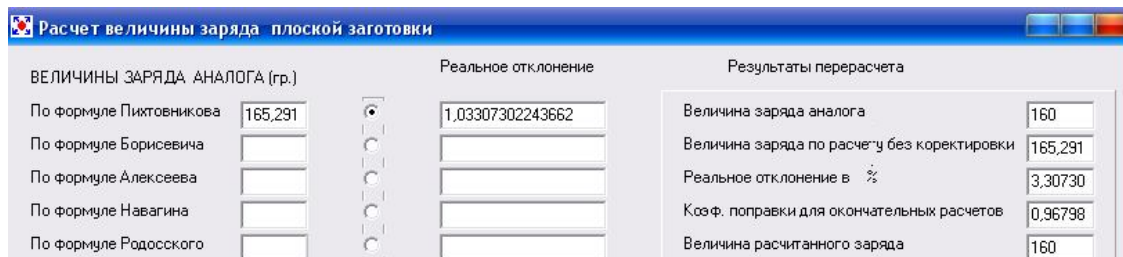


Рис. 5. Расчет параметров операционной технологии с учетом масштабных факторов

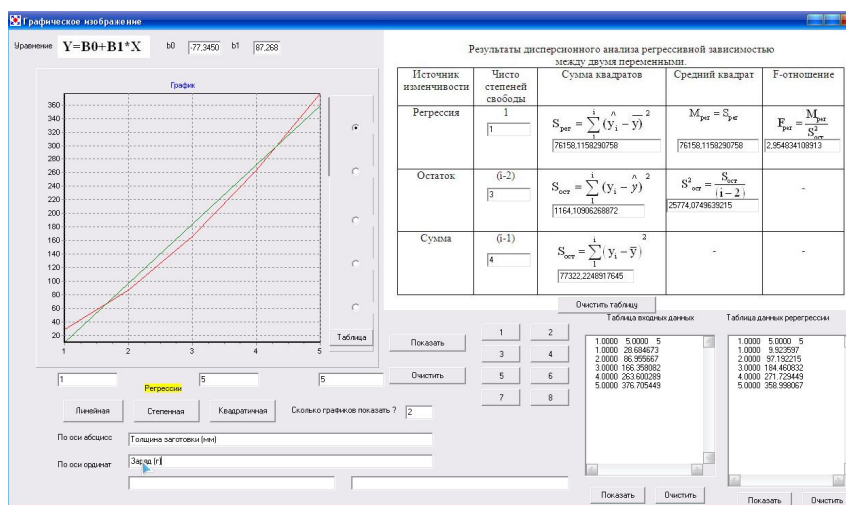


Рис. 6. Этап проведения дисперсного и регрессионного анализа данных

Также такой программный модуль может быть легко адаптирован для современных САПР систем и может быть полезен при отработке новых перспективных технологических процессов, а также в учебном процессе при подготовке молодых инженеров-технологов.

### Литература

1. Технологическая подготовка производства гибких производственных систем [Текст] / С. П. Митрофанов, Д. Д. Куликов, О. Н. Миляев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1987. – 352 с.

2. Третьяк, В. В. Синтез и оптимизация импульсных процессов с использованием объектного подхода [Текст] / В. В. Третьяк // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 9(45). – С. 158-162.

3. Алгоритм корректировки параметров импульсной штамповки листовых деталей и его программная реализация с учетом опытной апробированной технологии [Текст] / В. В. Третьяк, С. А. Стадник, А. В. Онопченко [и др.] // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2014. – № 7(114). – С. 154-158.

*Поступила в редакцию 2.06.2015, рассмотрена на редколлегии 22.06.2015*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. каф. технологий производства авиационных двигателей В. Ф. Сорокин, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

### МОЖЛИВОСТІ ІНТЕРАКТИВНОГО ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ СКЛАДНИХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ АДРЕСАЦІЇ ТА СИНТЕЗУ

*В. В. Третьяк, А. В. Онопченко, А. С. Федорова, С. О. Стадник*

Представлено інтерактивний програмний комплекс, що призначений для розробки нових і перспективних технологічних процесів виготовлення складних листових деталей з використанням методів синтезу та адресації. Показано створені математичні моделі для розрахунку технологічних процесів з урахуванням напруження наукових досліджень і виробничого досвіду з визначення величини навантаження при процесі штампування. Описано база знань, яка використовується в представленому програмному комплексі при проектуванні маршрутних та операційних технологічних процесів.

**Ключові слова:** інтерактивний програмний комплекс, імпульсні технологічні процеси, база знань, методи синтезу та адресації, складні листові деталі.

### THE POSSIBILITY OF INTERACTIVE SOFTWARE SYSTEMS FOR THE DESIGN PULSE PROCESSES TO MANUFACTURE COMPLEX PARTS BY ADDRESSING AND SYNTHESIS

*V. V. Tretyak, A. V. Onopchenko, A. S. Fedorova, S. A. Stadnik*

An interactive program which is designed to develop new and advanced technological processes of manufacturing of complex sheet metal parts using methods of synthesis and addressing is presented. A mathematical model created to calculate the technological processes, taking into account developments of scientific research and production experience to determine the value of the load at the stamping process is shown. The knowledge base used in the submitted software package for the design of routing and operational processes is described.

**Keywords:** interactive software package, pulse processes, knowledge base, methods of synthesis and addressing, complex sheet metal parts.

**Третьяк Владимир Васильевич** – канд. техн. наук, доц., доц. каф. технологий производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: vladimir.tretjak@mail.ru.

**Онопченко Антон Виталиевич** – мл. науч. сотр. каф. технологий производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: anton.onopchenko@yandex.ru.

**Федорова Анастасия Сергеевна** – инженер отдела по делам интеллектуальной собственности, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: patent@khai.edu.

**Стадник Степан Александрович** – инженер, АО «МОТОР-СИЧ», Запорожье, Украина, e-mail: stepanstadnik@mail.ru.